

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ: БСИТ, СИТ, БТИЗ



открытое акционерное общество

«ЭЛЬДАГ»

Дагестан, 367009 г. Махачкала, ул. Керимова, 7
Тел./факс: (8722) 64-45-58, (8722) 64-46-16
E-mail: eldag@datacom.ru

Производство биполярных транзисторов со статической индукцией — транзисторы кремниевые ключевые эпитаксиально-планарные с вертикальным каналом со статической индукцией.

Предназначены для применения в схемах высокочастотных источников питания и в других быстродействующих ключевых схемах радиоэлектронной аппаратуры и изделиях оборонной промышленности.

Основная масса полупроводниковых приборов выпускается в международных корпусах TO218, TO220.

Освоен промышленный выпуск транзисторов Дарлингтона — КТД8267

СОДЕРЖАНИЕ

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА ПАРАМЕТРОВ ТРАНЗИСТОРОВ	4	БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ СО СТАТИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИЕЙ	39
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАНЗИСТОРНЫХ КЛЮЧЕЙ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ И УСТРОЙСТВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ ...	7	КТ698	39
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТРАНЗИСТОРОВ И ИХ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	18	КП810	40
ТРАНЗИСТОРЫ СО СТАТИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИЕЙ	20	КП934	42
2П601, КП601	20	КП946	43
2П609	21	КП948	45
КП801	23	КП953	47
2П802, КП802	25	КП955	49
2П903, КП903	27	КП957	52
2П914	30	КП959	54
2П926, КП926	32	КП961	55
КП937	34	КП965	57
2П938, ПК-17	35	КП971	58
П-20	38	КП973	59
		КТ6127	60
		БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ С ИЗОЛИРОВАННЫМ ЗАТВОРОМ	61
		2Е701А	61
		АЛФАВИТНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТРАНЗИСТОРОВ	63



Москва

Издательский дом «Додэка-XXI»

В середине 70-х годов за рубежом появился новый класс полевых транзисторов — транзисторы со статической индукцией. Они представляют собой полевые транзисторы с управляющим *p-n*-переходом и вертикальным каналом. Так же, как и транзисторы с управляющим *p-n*-переходом, они имеют левую вольт-амперную характеристику, то есть их канал открыт при нулевом напряжении затвор—исток. Из-за нормально открытого состояния транзистор со статической индукцией имеет ограничения по применению в ряде радиоэлектронных схем.

Транзистор со статической индукцией с нормально-закрытым каналом, так называемый БСИТ, предназначенный для работы только в биполярном режиме (при прямо смещенном затворе), не имеет данного недостатка, так как его канал при нулевом напряжении на затворе перекрыт контактной разностью потенциала управляющего *p-n*-перехода. Биполярный режим работы реализуется путем прямого смещения управляющего *p-n*-перехода и впрыскивания неосновных носителей из затвора в область канала. В области канала неосновные носители создают большой положительный заряд (для *n*-канальных приборов), который приводит к инжекции основных носителей из области истока. Сформированная таким образом электронно-дырочная плазма модулирует канал и значительно снижает его сопротивление. При этом обеспечиваемая плотность тока в канале БСИТ в несколько раз выше, чем в биполярном транзисторе. Низкое сопротивление канала и высокое быстродействие являются основными достоинствами БСИТ.




К выпуску отечественных СИТ приступили с начала 80-х годов. Первый отечественный транзистор со статической индукцией — КП801, разработанный в 1982—1983 гг., — был предназначен для использования в выходных каскадах высококачественных усилителей мощности. Конструктивно он выполнен таким образом, что работает эффективно только в полевом режиме. Первым отечественным БСИТ был разработанный в 1990 г. транзистор 2П938. Он по основным электрическим параметрам близок к СИТ 2П926 и КП926 и предназначен для их замены в случаях, когда нет возможности реализовать двухполярное питание. С учетом сказанного выше при разработке транзистора 2П938 введены литерные варианты с напряжением отсечки при максимальном напряжении –3 В (СИТ), а не 0 В (БСИТ). Введение литерных вариантов повышает процент выхода годных и, соответственно, снижает стоимость прибора при серийном производстве.

Кроме того, в книге также приводятся параметры биполярных транзисторов с изолированным затвором (БИТЗ), которые представляют собой комбинацию полевого и биполярного транзисторов.

В настоящее время рассматриваемые типы транзисторов выпускаются в широком ассортименте отечественными предприятиями: «Кремний», «Октава», «Пульсар», «Элекс», «Эльдаг» и заводом полупроводниковых приборов в Ташкенте. Их адреса и товарные знаки приводятся ниже.

ТОВАРНЫЕ ЗНАКИ ПРЕДПРИЯТИЙ-ИЗГОТОВИТЕЛЕЙ

Товарный знак	Название и адрес предприятия
	КРЕМНИЙ ЗАО «Группа Кремний», 241037, г. Брянск, ул. Красноармейская, 103, Тел.: (0832)740301, факс: (0832)419103. E-mail: mark@online.bryansk.ru
	ОКТАВА ГП «Октава», 630049, Новосибирск, Красный проспект, 220. Тел.: (3832)267468, 287153.
	ПУЛЬСАР ГП «НИИ «Пульсар», 105187, Москва, Окружной проезд, 27. Тел.: (095)3650408, факс: (095)3665583.
	ЭЛЕКС АО «Александровский завод «Элекс», 601600, Владимирская область, г. Александров, ул. Институтская, 3. Тел.: (09244)95684, факс: (09244)24066.

Товарный знак	Название и адрес предприятия
	ЭЛЬДАГ ОАО «Эльдаг», 367009, Республика Дагестан, Махачкала, ул. Авиационная, 7. Тел.: (8722)646350, факс: (8722)644616.
	ЗПП ЗПП, Ташкент 700047, Узбекистан, Ташкент, ул. Мовароунахр, 13. Тел.: (3712)335616, факс: (3712)335516.
	ЭПЛ АОЗТ «ЭПЛ», 103460, Москва, НИИМП. Тел./факс: (095)5328195, 5329336.

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА ПАРАМЕТРОВ ТРАНЗИСТОРОВ

Символьные обозначения параметров

- f_T — Верхняя граничная частота
- G_p — Коэффициент усиления по мощности
- I_C — Постоянный ток коллектора
- I_D — Постоянный ток стока
- $I_{D,P}$ — Импульсный ток стока
- I_G — Постоянный ток затвора
- I_B — Постоянный ток базы
- $I_{G,P}$ — Импульсный ток затвора
- N_F — Коэффициент шума
- P_D — Рассеиваемая мощность
- $P_{D,P}$ — Импульсная рассеиваемая мощность
- P_{OUT} — Выходная мощность
- R_{ON} — Сопротивление сток—исток

- S — Крутизна
- S_V — Спектральная плотность напряжения шума, приведенная ко входу
- T_A — Температура окружающей среды
- T_C — Температура корпуса
- t_{OFF} — Время выключения
- t_D — Время рассасывания
- V_C — Напряжение отсечки
- $V_{DS\ SUS}$ — Граничное напряжение сток—исток
- V_{SAT} — Напряжение насыщения
- V_T — Пороговое напряжение
- β — Коэффициент усиления по току

Прибор	Структура	$V_{DS\ SUS}$	$I_D (I_C)(max)$	$P_D (max)$	R_{ON}	S	V_C	$I_G (I_B)(max)$	β	t_{OFF}	t_D	T_A	Особенности, область применения	Изготовитель
		[В]	[А]	[Вт]	[Ом]	[А/В]	[В]	[А]	[А/А]	[нс]	[нс]	[°С]		
БСИТ-05	<i>n</i> -БСИТ	200	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$V_{SAT} = 0.4\ В @ I_D = 10\ А, I_G = 0.5\ А$	ЭПЛ
БСИТ-25	<i>n</i> -БСИТ	40	20	—	—	—	—	—	—	500	—	$V_{SAT} = 0.3\ В @ I_D = 10\ А, I_G = 0.5\ А$		
ПК-16	<i>n</i> -СИТ	800	10	40	0.2	5	-20	3	—	200	—	-60...+125	Переключательные	Октава
ПК-17	<i>n</i> -СИТ	500	12	50	0.07	20	-3	3	—	200	1500	—		
ПК-20	<i>n</i> -СИТ	150	30	55	0.03	—	-10	5	30	200	—	-60...+125		
ПК-25	<i>n</i> -СИТ	400	2	—	0.5	—	-15	—	—	100	—	—		
ПК-27	<i>n</i> -СИТ	500	18	50	0.1	100	0	3	—	—	1500	—		
2П601А/Б	<i>n</i> -СИТ	20	0.15	2	—	0.05	4...5	0.01	—	—	—	-60...+125	Для усилителей и генераторов ВЧ, $N_F < 6\ дБ @ 400\ МГц, S_V < 2\ нВ/Гц^{1/2}$	ЗПП
2П601А9	<i>n</i> -СИТ	20	0.15	2	—	0.05	4...6	0.01	—	—	—	-60...+125		
КП601	<i>n</i> -СИТ	20	0.15	2	—	0.04	6...9	0.01	—	—	—	-40...+70		
2П609А	<i>n</i> -СИТ	25	0.1	1.2	—	0.03	6...7	0.03	—	—	—	-60...+40	Для УВЧ и смесителей, $N_F < 5\ дБ @ 400\ МГц,$ $G_p = 10\ дБ @ 200\ МГц$	Пульсар
2П609Б	<i>n</i> -СИТ	25	0.1	1.2	—	0.03	6...7	0.03	—	—	—	-60...+40		
КТ698А	<i>n</i> -БСИТ	90	(2)	0.6	—	—	(0.4)	20	—	200	—	-55...+125	Переключательные, $f_T = 150\ МГц, V_{SAT} = 0.2...0.35\ В$	Кремний, Элекс
КТ698Б	<i>n</i> -БСИТ	70	(2)	0.6	—	—	(0.4)	20	—	200	—	-55...+125		
КТ698В	<i>n</i> -БСИТ	50	(2)	0.6	—	—	(0.4)	50	—	200	—	-55...+125		
КТ698Г	<i>n</i> -БСИТ	30	(2)	0.6	—	—	(0.4)	50	—	200	—	-55...+125		
КТ698Д	<i>n</i> -БСИТ	12	(2)	0.6	—	—	(0.4)	50	—	200	—	-55...+125		
КТ698Е	<i>n</i> -БСИТ	12	(2)	0.6	—	—	(0.4)	50	—	200	—	-55...+125		
КТ698Ж	<i>n</i> -БСИТ	120	(2)	0.6	—	—	(0.4)	30	—	200	—	-55...+125		
КТ698И	<i>n</i> -БСИТ	160	(2)	0.6	—	—	(0.4)	30	—	200	—	-55...+125		
КТ698К	<i>n</i> -БСИТ	200	(2)	0.6	—	—	(0.4)	30	—	200	—	-55...+125		
2Е701А	<i>n</i> -БТИЗ	500	25	75	—	12	—	—	—	500	—	—	Переключательные, $V_{SAT} = 2...3\ В$	Пульсар
2Е701Б	<i>n</i> -БТИЗ	700	25	75	—	12	—	—	—	700	—	—		
2Е701В	<i>n</i> -БТИЗ	500	25	75	—	12	—	—	—	500	—	—		
2Е701Г	<i>n</i> -БТИЗ	700	25	75	—	12	—	—	—	700	—	—		
КЕ702А	<i>n</i> -БТИЗ	600	50	75	—	—	—	—	—	—	—	—	$V_{SAT} = 3.5\ В, f_T = 2\ МГц, корпус — КТ57$	Пульсар
КЕ702Б	<i>n</i> -БТИЗ	1000	25	75	—	—	—	—	—	—	—	—	$V_{SAT} = 5\ В, f_T = 2\ МГц, корпус — КТ57$	
КП730А	<i>n</i> -БТИЗ	1250	45	200	—	—	—	—	—	—	—	—	$V_{SAT} = 2.9\ В, V_T = 3.6\ В, корпус — КТ43$	Пульсар
КП801А	<i>n</i> -СИТ	75	4.5	60	2.2	0.6	-30	—	—	—	—	-60...+85	Для выходных каскадов УМЗЧ	Октава
КП801Б	<i>n</i> -СИТ	75	4.5	60	2.2	0.4	-30	—	—	—	—	-60...+85		
КП801В	<i>n</i> -СИТ	110	4.5	60	2.2	0.8	-30	—	—	—	—	-60...+85		
КП801Г	<i>n</i> -СИТ	140	4.5	60	2.2	0.6	-30	—	—	—	—	-60...+85		
2П802А	<i>n</i> -СИТ	500	2.5	40	3	0.8	-25	—	—	—	—	-60...+125	Для преобразователей напряжения, $t_{OFF} = 30\ нс @ I_D = 2\ А$	Октава
КП802А	<i>n</i> -СИТ	500	2.5	40	3	0.8	-25	—	—	—	—	-60...+125		
КП802Б	<i>n</i> -СИТ	450	2.5	40	3	0.8	-25	—	—	—	—	-60...+125		

Примечание: В таблице представлены основные параметры транзисторов каждого типа. Более подробные данные по параметрам каждого типонаминала транзистора можно найти в разделе 4: «Подробные описания отдельных транзисторов».

Прибор	Структура	$V_{DS\ SUS}$	$I_D (I_C)(max)$	$P_D (max)$	R_{ON}	S	V_C	$I_G (I_B)(max)$	v	t_{OFF}	t_D	T_A	Особенности, область применения	Изготовитель
		[В]	[А]	[Вт]	[Ом]	[А/В]	[В]	[А]	[А/А]	[нс]	[нс]	[°С]		
КП810А	n-БСИТ	1300	7	50	0.1	—	—	3	—	—	2100	—	$f_T = 50$ МГц	Эльдаг
КП810Б	n-БСИТ	1000	7	50	0.1	—	—	3	—	—	2100	—		
КП810В	n-БСИТ	1100	5	50	0.1	—	—	1	—	—	2100	—		
2П903А	n-СИТ	15	0.7	—	9.8	0.08	-12	0.015	—	—	—	-60...+125	Высокочастотные универсальные $P_{OUT} = 0.45$ Вт @ 30 МГц, $G_P = 11$ дБ @ 30 МГц	Пульсар
2П903А-5	n-СИТ	15	0.7	6	9.8	0.08	-12	0.015	—	—	—	-60...+125		
2П903Б	n-СИТ	15	0.48	6	21	0.05	-6.5	0.015	—	—	—	-60...+125	$S_V @ 100$ кГц = 2.5 нВ/Гц ^{1/2}	
2П903Б-5	n-СИТ	15	0.48	6	21	0.05	-6.5	0.015	—	—	—	-60...+125		
2П903В	n-СИТ	15	0.6	6	50	0.06	-4	0.015	—	—	—	-60...+125		
2П903В-5	n-СИТ	15	0.6	6	50	0.06	-4	0.015	—	—	—	-60...+125		
КП903А	n-СИТ	15	0.7	6	9.8	0.08	-12	0.015	—	—	—	-60...+125		
КП903Б	n-СИТ	15	0.48	6	21	0.05	-6.5	0.015	—	—	—	-60...+125		
КП903В	n-СИТ	15	0.6	6	50	0.06	-4	0.015	—	—	—	-60...+125		
2П914А	n-СИТ	50	0.25	2.5	50	0.01	-30	—	—	—	—	-60...+125	Для УВЧ, $N_F < 5$ дБ @ 200 МГц, $G_P = 6$ дБ @ 200 МГц	
2П926А	n-СИТ	450	16.5	50	0.1	2	-15	2	—	100	—	-60...+125	Для переключающих устройств, $P_{DI} = 250$ Вт	Октава
2П926Б	n-СИТ	400	16.6	50	0.1	2	-15	2	—	100	—	-60...+125		
КП934А	n-БСИТ	450	10	40	0.1	—	—	—	10	2500	—	-45...+85	Переключательные	Кремний, Октава
КП934Б	n-БСИТ	300	10	40	0.1	—	—	—	10	2500	—	-45...+86		
2П937А	n-СИТ	450	17.5	50	0.07	—	-15	2	—	—	—	-60...+125	Для преобразователей напряжения, $\beta = 20 @ I_D = 5A$	Кремний, Октава
2П938А	n-СИТ	500	15	50	—	—	—	4	20	200	1.5	-60...+125	Для преобразователей напряжения, $V_{SAT} = 0.7$ В @ $I_D = 2$ А	Октава
2П938Б	n-СИТ	500	15	50	—	—	—	4	20	200	1.5	-60...+125		
2П938В	n-СИТ	450	15	50	—	—	—	4	—	—	—	-60...+125		
2П938Г	n-СИТ	400	15	50	—	—	—	4	—	—	—	-60...+125		
2П938Д	n-СИТ	300	15	50	—	—	—	4	—	—	—	-60...+125		
КП938Д	n-СИТ	300	15	50	—	—	—	4	—	—	—	-60...+125		
КП938А	n-СИТ	500	15	50	—	—	—	4	20	200	1.5	-60...+125		
КП938Б	n-СИТ	500	15	50	—	—	—	4	20	200	1.5	-60...+125		
КП938В	n-СИТ	450	15	50	—	—	—	4	—	—	—	-60...+125		
КП938Г	n-СИТ	400	15	50	—	—	—	4	—	—	—	-60...+125		
2П942А	n-БСИТ	800	10	40	0.2	8	-20	3	—	—	—	—	Переключательные	Октава
2П942Б	n-БСИТ	700	10	40	0.2	8	-20	3	—	—	—	—		
2П942В	n-БСИТ	600	10	40	0.2	8	-20	3	—	—	—	—		
КП946А	n-БСИТ	500	15	40	0.03	—	—	4	—	—	700	-45...+85	Переключательные, $f_T = 200$ МГц	Кремний, Эльдаг
КП946Б	n-БСИТ	500	15	40	0.03	—	—	4	—	—	700	-45...+85		
КП948А	n-БСИТ	800	5	20	0.08	—	—	1.5	—	—	1300	-45...+85	Переключательные, $f_T = 50$ МГц	Кремний, Эльдаг
КП948Б	n-БСИТ	800	5	20	0.08	—	—	1.5	—	—	1300	-45...+85		
КП948В	n-БСИТ	600	5	20	0.08	—	—	1.5	—	—	1300	-45...+85		
КП948Г	n-БСИТ	600	5	20	0.08	—	—	1.5	—	—	1300	-45...+85		
КП953А	n-БСИТ	800	15	50	0.04	—	—	3	—	—	1500	-45...+85	Переключательные, $f_T = 50$ МГц	Эльдаг
КП953Б	n-БСИТ	800	15	50	0.04	—	—	3	—	—	1500	-45...+85		
КП953В	n-БСИТ	700	15	50	0.04	—	—	3	—	—	1500	-45...+85		
КП953Г	n-БСИТ	600	15	50	0.04	—	—	3	—	—	1500	-45...+85		
КП953Д	n-БСИТ	600	15	50	0.04	—	—	3	—	—	1500	-45...+85		
КП954А	n-БСИТ	150	20	40	—	—	—	—	—	—	300	—	$V_{SAT} = 0.3$ В @ $I_D = 10$ А	Эльдаг
КП954Б	n-БСИТ	100	20	40	—	—	—	—	—	—	300	—		
КП954В	n-БСИТ	60	20	40	—	—	—	—	—	—	300	—		
КП954Г	n-БСИТ	20	20	40	—	—	—	—	—	—	300	—		
КП955А	n-БСИТ	700	20	70	—	—	—	4	—	—	1200	-40...+85	Переключательные, $f_T = 60$ МГц	Эльдаг
КП955Б	n-БСИТ	450	20	70	—	—	—	4	—	—	1200	-40...+85		
КП956А	n-БСИТ	450	2	10	—	—	—	—	—	—	800	—	$V_{SAT} = 0.3$ В @ $I_D = 10$ А	Эльдаг
КП956Б	n-БСИТ	450	2	10	—	—	—	—	—	—	800	—		

Примечание: В таблице представлены основные параметры транзисторов каждого типа. Более подробные данные по параметрам каждого типоминерала транзистора можно найти в разделе 4: «Подробные описания отдельных транзисторов».

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА

Прибор	Структура	$V_{DS\text{ sus}}$	$I_D (I_C)(\text{max})$	$P_D (\text{max})$	R_{ON}	S	V_C	$I_G (I_B)(\text{max})$	β	t_{OFF}	t_D	T_A	Особенности, область применения	Изготовитель
		[В]	[А]	[Вт]	[Ом]	[А/В]	[В]	[А]	[А/А]	[нс]	[нс]	[°С]		
КП957А	n-БСИТ	800	1	10	0.4	—	—	0.5	—	—	700	-45...+85	Переключательные, $f_T = 200$ МГц	Кремний, Эльдаг
КП957Б	n-БСИТ	800	1	10	0.4	—	—	0.5	—	—	700	-45...+85		
КП957В	n-БСИТ	700	1	10	0.4	—	—	0.5	—	—	700	-45...+85		
КП958А	n-БСИТ	150	30	70	—	—	—	—	—	—	500	—	$V_{SAT} = 0.3$ В @ $I_D = 10$ А	Эльдаг
КП958Б	n-БСИТ	100	30	70	—	—	—	—	—	—	500	—		
КП958В	n-БСИТ	60	30	70	—	—	—	—	—	—	500	—		
КП958Г	n-БСИТ	20	30	70	—	—	—	—	—	—	500	—		
КП959А	n-БСИТ	300	0.2	7	—	—	—	0.05	60	—	—	-45...+85	Переключательные, $f_T = 200$ МГц	Эльдаг
КП959Б	n-БСИТ	250	0.2	7	—	—	—	0.05	60	—	—	-45...+85		
КП959В	n-БСИТ	200	0.2	7	—	—	—	0.05	60	—	—	-45...+85		
КП960А	p-БСИТ	300	0.2	7	—	—	—	—	—	—	—	—	$V_{SAT} = 0.4$ В @ $I_D = 10$ А	Эльдаг
КП960Б	p-БСИТ	250	0.2	7	—	—	—	—	—	—	—	—		
КП960В	p-БСИТ	200	0.2	7	—	—	—	—	—	—	—	—	$V_{SAT} = 0.4$ В @ $I_D = 7$ мА	
КП961А	n-БСИТ	250	5	10	0.16	—	—	0.5	—	—	180	-45...+85	Переключательные, $f_T = 280$ МГц	Кремний, Эльдаг
КП961Б	n-БСИТ	160	5	10	0.14	—	—	0.5	—	—	180	-45...+85		
КП961В	n-БСИТ	120	5	10	0.12	—	—	0.5	—	—	180	-45...+85		
КП961Г	n-БСИТ	60	5	10	0.10	—	—	0.5	—	—	180	-45...+85		
КП961Д	n-БСИТ	20	5	10	0.10	—	—	0.5	—	—	180	-45...+85		
КП961Е	n-БСИТ	10	5	10	0.8	—	—	0.5	—	—	180	-45...+85		
КП962А	n-БСИТ	400	2	10	0.5	—	-15	1	—	—	—	—	—	Октава
КП963А	n-БСИТ	150	15	40	0.3	50	0	5	—	100	1200	—	—	Октава
КП964А	p-БСИТ	150	20	40	—	—	—	—	—	—	500	—	$V_{SAT} = 0.3$ В @ $I_D = 10$ А	Эльдаг
КП964Б	p-БСИТ	100	20	40	—	—	—	—	—	—	500	—		
КП964В	p-БСИТ	60	20	40	—	—	—	—	—	—	500	—		
КП964Г	p-БСИТ	20	20	40	—	—	—	—	—	—	500	—		
КП965А	p-БСИТ	250	5	10	—	—	—	—	—	—	180	—	$V_{SAT} = 0.2$ В @ $I_D = 0.5$ А	Эльдаг
КП965Б	p-БСИТ	160	5	10	—	—	—	—	—	—	180	—		
КП965В	p-БСИТ	120	5	10	—	—	—	—	—	—	180	—		
КП965Г	p-БСИТ	60	5	10	—	—	—	—	—	—	180	—		
КП965Д	p-БСИТ	20	5	10	—	—	—	—	—	—	180	—		
КП971А	n-БСИТ	900	25	100	—	—	—	—	—	—	2500	—	$V_{SAT} = 0.6$ В @ $I_D = 15$ А	Эльдаг
КП971Б	n-БСИТ	800	25	100	—	—	—	—	—	—	2500	—		
КП972А	n-БСИТ	150	40	150	—	—	—	—	—	—	650	—	$V_{SAT} = 0.5$ В @ $I_D = 20$ А	Эльдаг
КП972Б	n-БСИТ	100	40	150	—	—	—	—	—	—	650	—		
КП973А	n-БСИТ	700	30	100	—	—	—	—	—	—	150	—	$V_{SAT} = 0.5$ В @ $I_D = 20$ А	Эльдаг
КП973Б	n-БСИТ	600	30	100	—	—	—	—	—	—	150	—		
КТ6127А	p-БСИТ	90	2	0.6	—	—	—	0.4	30	—	200	-55...+125	Переключательные, $V_{SAT} = 0.15...0.25$ В	Кремний, Элекс
КТ6127Б	p-БСИТ	70	(2)	0.6	—	—	—	(0.4)	30	—	200	-55...+125		
КТ6127В	p-БСИТ	50	(2)	0.6	—	—	—	(0.4)	50	—	200	-55...+125		
КТ6127Г	p-БСИТ	30	(2)	0.6	—	—	—	(0.4)	50	—	200	-55...+125		
КТ6127Д	p-БСИТ	20	(2)	0.6	—	—	—	(0.4)	50	—	200	-55...+125		
КТ6127Е	p-БСИТ	10	(2)	0.6	—	—	—	(0.4)	50	—	200	-55...+125		
КТ6127Ж	p-БСИТ	120	(2)	0.6	—	—	—	(0.4)	30	—	200	-55...+125		
КТ6127И	p-БСИТ	160	(2)	0.6	—	—	—	(0.4)	30	—	200	-55...+125		
КТ6127К	p-БСИТ	200	(2)	0.6	—	—	—	(0.4)	30	—	200	-55...+125		
КП7110А	n-БСИТ	700	30	100	—	—	—	—	—	—	2000	—		
КП7110Б	n-БСИТ	600	30	100	—	—	—	—	—	—	2000	—		
КП7111А	n-БСИТ	700	20	70	—	—	—	—	—	—	1200	—	$V_{SAT} = 0.6$ В @ $I_D = 15$ А, $I_G = 3$ А	ЭПЛ
КП7111Б	n-БСИТ	450	20	70	—	—	—	—	—	—	1200	—		
КП7112	n-БТИЗ	350	15	150	—	—	—	—	—	—	—	—	$V_{SAT} = 1.8$ В @ $I_C = 10$ А	ЭПЛ

Примечание: В таблице представлены основные параметры транзисторов каждого типа. Более подробные данные по параметрам каждого типонаминала транзистора можно найти в разделе 4: «Подробные описания отдельных транзисторов».

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАНЗИСТОРНЫХ КЛЮЧЕЙ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ И УСТРОЙСТВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

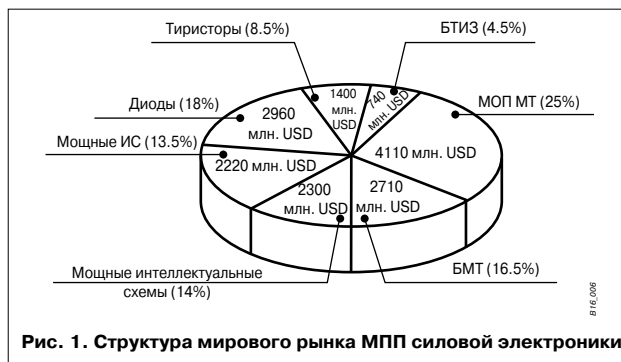
1. ВВЕДЕНИЕ

Силовая электроника — область науки и техники, связанная с управлением потоками электроэнергии посредством электронных вентилях в диапазоне мощностей от одного ватта до нескольких мегаватт. Она не является новейшим направлением в мировой хозяйственной деятельности, однако в последнее время переживает очевидный подъем и новый этап развития. В первую очередь это связано с заметными технологическими усовершенствованиями и созданием новых типов основополагающих ее компонентов — мощных полупроводниковых приборов (МПП).

В настоящее время к МПП, применяемым в устройствах силовой электроники, принято относить следующие типы приборов: традиционные биполярные мощные транзисторы (БМТ), полевые мощные транзисторы с управляющей МОП-структурой (МОП МТ), биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ или IGBT), тиристоры и симисторы различных типов, мощные диоды, диодные мосты и выпрямители, а также мощные интегральные схемы, отдельной составляющей которых рассматриваются их «интеллектуальные» разновидности. Общий объем мирового выпуска и продаж всех указанных типов МПП в денежном выражении оценивается на настоящий момент примерно в 11,6 млрд. долларов США в год [1, 2].

Структурный состав этого сегмента рынка полупроводниковых приборов приведен на **Рис. 1**.

Включение в указанный перечень ограниченного числа разновидностей МПП вовсе не означает, что в настоящее время не существует других типов электронных вентилях для силовых устройств. Подобные приборы имеются как в экспериментальном, так и в промышленном исполнении и не рассматриваются в справочнике по экономическим соображениям, так как суммарная доля «нетиповых» МПП в устройствах силовой электроники составляет менее 1% относительно указанного объема выпуска «типовых» МПП. Несомненно, что в ближайшее время некоторые новые перспективные изделия из перечня так называемых «нетиповых» МПП будут широко востребованы на



практике и перейдут в разряд основополагающих компонентов силовой электроники, заняв достойное место в указанной структуре мирового рынка. К таким перспективным приборам для применения в силовых устройствах большой мощности (свыше 10 кВт) относятся запираемые тиристоры с интегрированной схемой управления. Для устройств небольшой и средней мощности (от нескольких ватт до нескольких киловатт) к перспективным следует отнести транзисторы со статической индукцией — СИТ и их технологические разновидности, так называемые БСИТ. Последние представляют собой приборы со статической индукцией при нормально-закрытом канале, работающие в биполярном режиме. Цель данного справочника — дать сведения разработчику и радиолобителю по новой элементной базе, рассмотрев основные характеристики БСИТ-транзисторов как переключающих элементов для изделий и устройств силовой электроники в сравнении с их более известными транзисторными прототипами — БМТ, МОП МТ и БТИЗ.

2. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТРАНЗИСТОРНЫМ КЛЮЧАМ

Требования, предъявляемые к транзисторным ключам, известны:

- в открытом состоянии они должны обладать минимальным сопротивлением, минимизируя тем самым рассеиваемую на них мощность, называемую статическими потерями ключа;
- в закрытом состоянии транзисторы должны выдерживать максимально возможные напряжения между их электродами, включая и возможные всплески напряжения во время переходных процессов. При этом уровень токов утечки, просачивающихся через ключ, должен быть минимально возможным, практически сводя к нулю потери мощности на МПП в данном режиме;
- времена переключения из закрытого состояния в открытое и обратно должны быть минимально возможными по длительности, что позволит иметь минимальное рассеяние энергии на ключе во время коммутации, называемое динамическими потерями ключа.

Помимо указанного, важным электрическим параметром транзисторных ключей является уровень потребляемой мощности по управляющему электроду — базе или затвору. Естественно, чем меньше значения импульсной и средней мощности, необходимые для нормального переключения транзистора и поддержания его в том

или ином статическом состоянии, тем более качественным ключевым элементом он является. И, наконец, есть еще один показатель качества для любого МПП — это энергетические характеристики ключа в рабочих режимах и его теплофизическая устойчивость к импульсным перегрузкам. Данные показатели для транзисторов характеризуются: 1) областями безопасной работы (ОБР), т.е. максимально допустимыми сочетаниями тока, напряжения и длительностей импульсов для различных рабочих режимов; 2) специфическими параметрами устойчивости к аварийным режимам, такими, как перегрузочные области работы, ток короткого замыкания, энергия лавинного или вторичного пробоя. Очевидно, чем шире ОБР, т.е. чем больше допустимые сочетания напряжений, токов и длительностей импульсов, и чем больше допустимые значения аварийных параметров, тем более качественным ключом считается рассматриваемый транзистор.

Именно исходя из вышеперечисленных технических показателей в сочетании с экономическими факторами и должна вестись сравнительная оценка любого переключающего МПП, используемого в изделиях и устройствах силовой электроники.

3. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСТОРИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СИТ- И БСИТ-ТРАНЗИСТОРОВ

Принцип действия и первые экспериментальные образцы приборов со статической индукцией были разработаны японским ученым Нишизава в начале 50-х годов непосредственно вслед за изобретением полевого транзистора с управляющим *p-n*-переходом (ПТУП). Тот и другие приборы — твердотельные триоды, управлялись подобно электривакуумной лампе напряжением. В этом было принципиальное отличие от ранее созданного биполярного транзистора, управляемого током. По своей структуре СИТ-транзистор был очень похож на обычный ПТУП, отличаясь от него только более высокой степенью легирования истока и более узким и коротким каналом. Однако это небольшое на первый взгляд технологическое отличие позволило получить прибор, который мог работать не только в режиме обеднения канала носителями, но и в режимах его обогащения. С практической точки зрения это можно пояснить следующим образом: и ПТУП, и СИТ-транзистор имеют исходно-встроенный, нормально-открытый канал с достаточно высокой проводимостью при нулевом потенциале на затворе относительно истока. Однако отличия следующие: если ПТУП имеют в этом режиме максимальный выходной ток и все их рабочие характеристики рассчитаны на возможность снижения этого исходного тока до меньших значений путем подачи на затвор запирающего потенциала вплоть до полного перекрытия, т.е. отсечки канала;

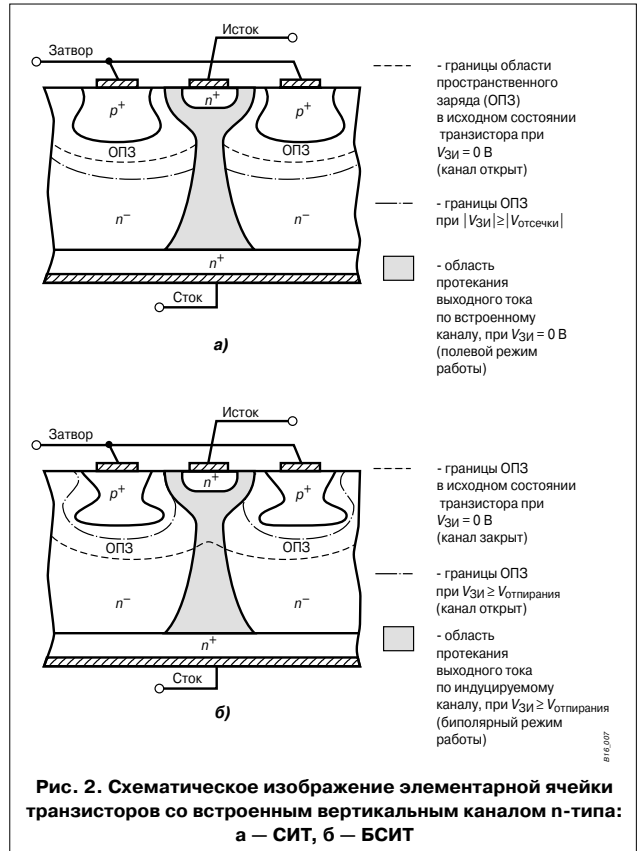
СИТ-транзисторы, помимо аналогичных характеристик на запирающее напряжение, имеют еще рабочие характеристики и при подаче на затвор отпирающего потенциала. При этом в приборе может достигаться гораздо больший, чем в ПТУП, выходной ток. Но ввиду того что с ростом отпирающего напряжения на затворе последний, представляя собой управляющий *p-n*-переход, начинает потреблять значительный ток, СИТ-транзистор в этих режимах переходит с экономичного потенциального способа управления на более энергоемкое токовое управление. В результате в подобных режимах обогащения канала носителями СИТ-транзистор, приобретая большие возможности по выходному току, теряет часть своих достоинств, связанных с малым потреблением мощности по управляющему электроду и становится подобен обычному биполярному транзистору, управляемому током. Тем не менее сочетание свойств полевых и биполярных транзисторов с их достоинствами (а вместе с тем и недостатками) относит этот подкласс полупроводниковых приборов в самостоятельную группу, названную транзисторами со статической индукцией — СИТ. При этом следует указать, что, помимо определенных технологических отличий, эти два типа приборов имеют и различный вид своих выходных вольт-амперных характеристик (ВАХ). Если у ПТУП выходные ВАХ — пентодного типа, то у СИТ-транзисторов при их использовании в полевых режимах выходные ВАХ — триодного типа, а при использовании СИТ в биполярных режимах — пентодного.

Несмотря на свое достаточно давнее обособление от ПТУП, СИТ-транзисторы проходили фактически те же стадии эволюции в своем технологическом развитии, что и обычные ПТУП. Так получилось, что оба эти типа приборов на протяжении примерно тридцати лет основывались в своей технологии на использовании планарных структур с горизонтальным расположением канала. При этом все три области транзистора (затвор, сток и исток) выводились на одну, верхнюю, сторону структуры. Подобное конструктивное исполнение приборов имеет ряд существенных ограничений как по рабочему току и напряжению, так и по уровню максимально допустимой мощности рассеяния. В результате в течение всего указанного длительного периода, вплоть до середины 80-х годов, эти типы приборов реализовывались в основном только в виде маломощных и низковольтных вариантов исполнения, практически не внедряясь в быстроразвивающиеся массовые изделия и устройства силовой электроники.

При этом БСИТ-транзистор, представляя собой технологическую разновидность СИТ-транзистора с нормально-закрытым каналом, но с более сложной геометрической формой затвора, в тот период времени вообще серийно не выпускался. И только начиная со второй половины 80-х, когда в производстве полевых транзисторов, включая и МОП МТ, произошел качественный прорыв, появилась возможность техно-

логической реализации мощных СИТ- и БСИТ-транзисторов с широким диапазоном рабочих токов и напряжений по новой технологии многоячеечных структур с вертикальным каналом. При этом сток и исток разнесены по разные стороны кристалла и каждый такой прибор представляет собой параллельное соединение от нескольких тысяч до нескольких сотен тысяч элементарных ячеек — транзисторных структур, создаваемых методами полупроводниковой технологии в едином технологическом цикле на одном монокристаллическом кристалле [3]. Упрощенная структура элементарных ячеек современных мощных СИТ- и БСИТ-транзисторов приведена на **Рис. 2а** и **2б** соответственно.

Как видно из данных рисунков, эти приборы в своей основе по-прежнему подобны биполярным транзисторам с управляющим *p-n*-переходом, но, естественно, в их современном исполнении с вертикальным каналом [4, 5]. Но так как БСИТ-транзистор по сравнению с обычным СИТ-транзистором имеет более сложный профиль легирования и более сложную геометрическую форму затвора, то это обеспечивает данному типу транзисторов закрытое состояние при нулевом потенциале на затворе относительно истока. Поэтому в отличие от обычного СИТ-транзистора рабочие характеристики БСИТ проявляются только в режиме обогащения канала носителями. Данный режим, как уже указывалось, обеспечивается при подаче на затвор отпирающего потенциала относительно истока, смещающего управляющий *p-n*-переход в прямом направлении. При этом в цепи затвор—исток начинает протекать значительный по величине ток затвора, изменяя который можно переводить БСИТ-транзистор в низкоомное состояние транзисторного ключа подобно тому, как это делается с традиционными биполярными транзисторами при изменении их тока базы. Ввиду того что в формировании то-



ка стока БСИТ участвуют как основные, так и неосновные носители заряда, у этих приборов при достижении определенного уровня тока стока возникает эффект модуляции проводимости канала неосновными носителями, аналогично тому, как это имеет место у традиционных БМТ в открытом состоянии на участке между коллектором и эмиттером. Наличие этого эффекта приводит к тому, что увеличение выходного тока при сохранении отношения тока стока к току затвора весьма незначительно сказывается на величине остаточного напряжения открытого ключа, что способствует небольшим статическим потерям данного ключевого элемента. Полевые транзисторы используют только один тип носителей заряда, не имеют эффекта модуляции проводимости канала как у БСИТ, в результате чего остаточное напряжение на открытом ключе при увеличении тока линейно нарастает, что приводит к большим статическим потерям, особенно у высоковольтных приборов.

Таким образом, можно считать, что современные БСИТ-транзисторы, несмотря на схожесть их структуры с униполярными полевыми транзисторами, управляемыми напряжением, являются, по существу, биполярными МПП, управляемыми током. Соответственно, все рабочие характеристики БСИТ, несмотря на обозначение их выводов (затвор, сток и исток), нормируются на практике фактически тем же набором параметров и режимов, что и традиционные БМТ. При этом выход-

ные ВАХ БСИТ, как и у традиционных БМТ, имеют пентодный характер. Высокая плотность рабочего тока в структуре, являющаяся достоинством любых биполярных транзисторов, позволяет использовать сравнительно небольшие по площади кристаллы при производстве достаточно высоковольтных и высокоточных приборов. Так как стоимость полупроводниковых приборов фактически прямо пропорциональна размерам их кристалла, на практике получается, что при прочих равных показателях биполярные транзисторы примерно в два-три раза дешевле их полевых прототипов, плотность рабочего тока в которых, как правило, в несколько раз меньше. Современные БСИТ-транзисторы, которые изготавливаются с применением эффективных методов биполярной технологии, хорошо отработанных при производстве мощных многоэмиттерных транзисторов, представляют собой недорогие приборы. Они имеют заметно более низкую стоимость единицы коммутируемой мощности по сравнению как с МОП МТ, так и с БТИЗ. Тем не менее широкое внедрение БСИТ-транзисторов сдерживается как по субъективным причинам (разработчики доверяют проверенным временам МПП), так и по объективным — небольшой процент от выхода годных БСИТ в процессе их производства и достаточно большой разброс получаемых значений нормируемых параметров у этого типа МПП. Но эти проблемы решаемы и в ближайшие годы вполне могут быть устранены.

4. АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРНЫХ КЛЮЧЕЙ

В **Табл. 1—4** приведены сравнительные данные по электрическим параметрам и характеристикам четырех типов транзисторных ключей: БСИТ, БМТ, МОП МТ и БТИЗ. При этом представлены как основные предельно допустимые параметры, нормируемые в технических условиях (ТУ) на МПП (**Табл. 1а, 2а, 3а и 4а**), так и ряд дополнительных предельных параметров, которые в ТУ зачастую не приводятся, но весьма важны для характеристики транзисторов как ключевых элементов (**Табл. 1б, 2б, 3б и 4б**). Значения данных параметров либо брались из ТУ, если они там имеются, либо определялись экспериментально, в процессе измерений параметров выборками из десяти транзисторов для каждого рассматриваемого типа. Помимо этого, в каждой из **Табл. 1—4** приведены значения наиболее важных статических и динамических параметров транзисторов (**Табл. 1в, 2в, 3в и 4в**), которые также либо брались из ТУ, если они там приведены, либо определялись экспериментально, в процессе соответствующих измерений параметров выборками из десяти транзисторов каждого типа.

В **Табл. 1 и 2** представлены приборы средней высоковольтности, коммутирующие напряжения от 400 до 800 В. Приборы этого класса рассчитаны на работу в изделиях и устройствах силовой электроники небольшой и средней мощности, питаемых от выпрямленной однофазной сети переменного тока 220 В/50 Гц. Это наиболее обширный сектор силовых устройств, на долю которого приходится около 50% всего рынка силовой электроники. Прежде всего это разнообразные сетевые источники вторичного электропитания (ИВЭП), включая и те, что входят в состав телевизоров и персональных компьютеров. Помимо этого, указанный класс МПП применяется в выходных каскадах преобразователей напряжения и инверторов в составе других изделий массового спроса, таких, как, стиральные машины, кондиционеры, холодильники, пылесосы, индукционные печи, электронные балласты для люминесцентных ламп и т.д. Приборы в **Табл. 1 и 2** отличаются в основном по уровню рабочего тока и мощности. В **Табл. 1** это транзисторы с максимальным током 4...6 А и максимальной мощностью 40...75 Вт, а в **Табл. 2** — током 8...10 А и мощностью 60...125 Вт.

В **Табл. 3** представлены сравнительно низковольтные, но высокопроизводительные МПП с напряжением до 200 В при уровне рабочего тока 10...135 А. Транзисторы этого подкласса также широко востребованы на практике. В первую очередь это многочисленные силовые узлы и блоки в составе систем автомобильной электроники, а также низковольтные преобразователи постоянного напряжения и раскачки устройства с питанием от аккумуляторов и солнечных батарей.

В **Табл. 4** представлены наиболее высоковольтные МПП с напряжением до 1000 В. Эти приборы применяются, например, в блоках строчной развертки телевизоров и мониторов, включая модели с высокой разрешающей способностью, а также в схемах высоковольтных преобразователей, питаемых от выпрямленной трехфазной сети переменного тока 380 В/50 Гц или 400 Гц.

Из сравнения **Табл. 1 и 2** видно, что БСИТ средней высоковольтности по сравнению с традиционными БМТ обладают более высоким коэффициентом усиления по току и имеют меньшие значения сопротивления ключа в открытом состоянии, а также связанные с этим меньшие значения остаточного напряжения на открытом ключе. Это объясняется тем, что БСИТ, работая в биполярном режиме, не имеют в своей структуре *p-n*-переходов на пути протекания тока на участке сток—исток. Из тех же таблиц видно, что по значению сопротивления ключа в открытом состоянии БСИТ средней высоковольтности превосходят также и БТИЗ и имеют очень значительное преимущество перед аналогичными МОП МТ. Что касается динамики переключений, характеризующей временными параметрами транзисторов, то, как следует из **Табл. 1 и 2**, БСИТ и здесь имеют определенное преимущество перед БМТ и БТИЗ, но несколько уступают МОП МТ. При этом необходимо отметить, что, в отличие от БМТ и БТИЗ, БСИТ практически не имеют так называемых «хвостов» — временных задержек в форме импульса напряжения сток—исток при включении транзистора и в форме импульса тока стока при его выключении (см. **Рис. 3** и стороны $t_{хв\text{ вкл}}$ и $t_{хв\text{ выкл}}$ в **Табл.**). Вышеуказанные достоинства БСИТ-транзисторов средней высоковольтности позволяют иметь минимальные статические потери среди всех четырех типов рассматриваемых МПП и очень незначительные динамические потери ключей, практически такие же, как у МОП МТ, т.е. эти транзисторы превосходят по этому показателю как БМТ, так и БТИЗ. Рабочая частота коммутации (частота преобразования) при применении БСИТ-транзисторов в силовых устройствах может достигать 150...200 кГц и даже более, что позволяет использовать мощные элементы (трансформаторы, катушки индуктивности, дроссели) значительно меньших размеров, улучшая тем самым массогабаритные показатели устройств. Необходимые при этом цепи раскачки БСИТ можно реализовывать сравнительно простыми функциональными схемами, с небольшим уровнем потребляемой мощности, в том числе здесь зачастую можно использовать те же интегральные схемы с минимумом дополнительных элементов, что и применяемые для управления и раскачки МОП МТ и БТИЗ. Малые значения статических и динамических потерь способ-



ствую повышению надежности устройств (за счет меньшего разогрева транзисторов), а также улучшают их КПД.

Исходя из вышеперечисленного, можно предполагать, что в ближайшие годы БСИТ средней высоковольтности будут должным образом востребованы на практике и потеснят все три типа конкурирующих МПП в области силовых устройств малой и средней мощности.

При рассмотрении Табл. 3, где представлены низковольтные транзисторы, видно, что для этого класса МПП вне конкуренции МОП МТ. Они превосходят все остальные конкурирующие типы МПП, включая и БСИТ, практически по всем техническим показателям, характеризующим транзисторные ключевые элементы. Соответственно, низковольтные МОП МТ имеют минимальные статические и динамические потери при использовании их в узлах и блоках силовой электроники. Рабочая частота преобразования при использовании МОП МТ вполне может достигать нескольких сотен кГц, хотя зачастую эти приборы успешно используются и на более низких частотах (50...100 кГц). Тем не менее несмотря на очевидные технические достоинства низковольтных МОП МТ, традиционные БМТ, а также БСИТ все же могут конкурировать и с этим подклассом МОП МТ, так как они в несколько раз дешевле последних. Поэтому, например, такие приборы, как составной БМТ типа КТ829АМ и БСИТ типа КП954А, имеют неплохие перспективы при использовании в качестве выходных ключей регуляторов напряжения автомобильных генераторов, а также некоторых преобразовательных устройств в портативной аппаратуре.

Анализ данных, приведенных в Табл. 4, т.е. для наиболее высоковольтных транзисторных ключей, показывает, что наиболее оптимальными МПП пока остаются традиционные БМТ. По сравнению с высоковольтными БТИЗ БМТ имеют несколько меньшее напряжение насыщения открытого ключа и лучшие динамические показатели во время спада. Что же касается МОП МТ, то их высоковольтные варианты очень существенно проигрывают и БТИЗ, и тем более БМТ по сопротивлению ключа в открытом состоянии, а также по размерам кристалла и связанной с этим стоимостью прибора. Следует также констатировать, что нынешние высоковольтные БСИТ, в отличие от вариантов средней высоковольтности, не имеют преимуществ перед традиционными БМТ по статическим параметрам: напряжению сток—исток в открытом состоянии и коэффициенту усиления по току, — и уступают им по важному динамическому параметру — времени спада. Кроме того, необходимо указать, что сама по себе реализация высоковольтных

вариантов БСИТ требует заметного усложнения используемых техпроцессов, что заметно повышает стоимость приборов. Поэтому, например, применительно к выходным ключам блоков строчной развертки телевизоров, БСИТ, так же, как и БТИЗ, практически пока нерационально конкурировать с традиционными высоковольтными БМТ.

Из анализа Табл. 1—4 видно, что БТИЗ, представляющие собой схемотехническую комбинацию высоковольтного биполярного и низковольтного МОП МТ, реализованную методами полупроводниковой технологии в виде монолитного прибора, в настоящий момент не имеют заметных преимуществ ни перед БМТ, ни перед БСИТ-транзисторами, за исключением более удобной на практике цепи расcharges по затвору. По отношению к МОП МТ БТИЗ выделяются значительно меньшим сопротивлением ключа в открытом состоянии, но заметно уступают им по динамике переходных процессов. Тем не менее большинство экспертов считают БТИЗ одними из наиболее перспективных МПП не только для устройств силовой электроники большой мощности (свыше 10 кВт), где они наряду с запираемыми тиристорами уже занимают доминирующие позиции (в виде мощных модулей, включая их гибридные «интеллектуальные» разновидности), но также и для силовых устройств средней мощности (от 100 Вт до нескольких киловатт). Это объясняется быстрым технологическим совершенствованием БТИЗ, направленным на повышение их быстродействия при одновременном уменьшении остаточного напряжения на открытом ключе, а также на повышение их перегрузочных способностей. Поэтому следует ожидать, что в ближайшие годы БТИЗ потеснят по ряду применений не только традиционные БМТ (блоки электронного зажигания автомобилей, блоки строчной развертки видеоустройств, устройства электросварки, электронные балласты для газоразрядных ламп и электронные трансформаторы для галогенных ламп), но также и МОП МТ (сетевые ИВЭП средней мощности) [6]. Рабочая частота преобразования при использовании современных БТИЗ лежит, как правило, в диапазоне 20...70 кГц, достигая у наиболее быстродействующих типов приборов величины 100...150 кГц. Указанные значения по частоте преобразования примерно соответствуют переключательным возможностям и современных традиционных БМТ [7].

Отдельно следует рассмотреть энергетические и перегрузочные показатели транзисторных ключей. Как уже указывалось, наиболее важными характеристиками транзисторов в этом плане являются области их безопасной работы при прямом и обратном динамическом смещении управляющего электрода ОБР(F) и ОБР(R), энергии вторичного и лавинного пробоя, а также уровень допустимого тока в режиме короткого замыкания. На Рис. 4—11 приведены типовые семейства границ ОБР(F) и ОБР(R) для каждого из четырех типов рассматриваемых МПП. При этом приводимые здесь области безопасной работы представляют собой не



отображение энергетических возможностей каких-то конкретных приборов, а некие усредненные энергетические характеристики, показывающие все наиболее характерные соотношения между током, напряжением и длительностью рабочих импульсов для данного типа транзисторов. Приводимая на **Рис. 4–11** форма зависимостей была подтверждена в процессе экспериментальных измерений. При рассмотрении указанных графиков видно, что прямосмещенные ОБР(F) у всех трех типов биполярных транзисторов (БМТ, БСИТ и БТИЗ) содержат как участки постоянной мощности (с углом наклона графиков равным 45° к оси абсцисс в логарифмическом масштабе), характеризующие тем, что уровень нормируемой на них мощности не зависит от величины напряжения, так и участки вторичного прогиба, или термической нестабильности (с углом наклона графиков более 45° к оси абсцисс), характеризующие тем, что уровень нормируемой на них мощности снижается по мере роста напряжения. Причем это относится как к статическим режимам, так и к некоторым из импульсных режимов работы транзисторов (см. **Рис. 4, 6, 10**). В то же время из представленных графиков видно (см. **Рис. 8**), что МОП МТ не имеют участков вторичного прогиба в пределах своих границ ОБР(F), что означает для этого класса МПП постоянство нормируемых значений предельно допустимой мощности во всем диапазоне норми-

руемых напряжений. Следует указать, что ОБР(F), приводимые практически во всех ТУ на транзисторы, характеризуют в первую очередь энергетику транзисторов в усилительных, т.е. линейных режимах. Что касается транзисторов, работающих в ключевых режимах, то из всех нормируемых границ ОБР(F) самыми важными являются графики при наиболее короткой длительности рабочего импульса, которая в соответствии с международным стандартом устанавливается равной 10 мкс. Именно соотношения ток—напряжение, приводимые в семействе ОБР(F) при длительности импульса 10 мкс, должны рассматриваться пользователями транзисторов как границы предельно допустимых режимов для моментов включения транзисторов, т.е. при переключении их рабочей точки из режима отсечки в режим открытого состояния ключа. Удобным показателем для характеристики ширины ОБР(F) является уровень тока $I_{V_{\text{МАКС}}(F)}$, который определяется при величине напряжения V , равного граничному напряжению $V_{\text{КЭ ГР}}$ или $V_{\text{СИ ГР}}$. Из приведенных графиков видно, что параметр $I_{V_{\text{МАКС}}(F)}$ для БМТ, БТИЗ и МОП МТ по своему значению соответствует уровню максимально допустимого импульсного тока $I_{\text{К,И МАКС}}$ или $I_{\text{С,И МАКС}}$; в то время как для БСИТ-транзисторов зарегистрированные значения $I_{V_{\text{МАКС}}(F)}$ соответствуют уровню максимально допустимого постоянного тока стока, что свидетельствует о несколько более уз-

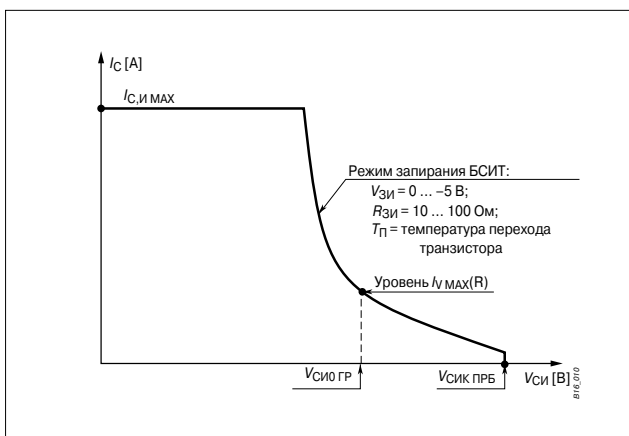


Рис. 5. Типовая область безопасной работы БСИТ-транзисторов для режима обратного динамического смещения затвора — ОБР(R) — при температуре кристалла менее 100°C

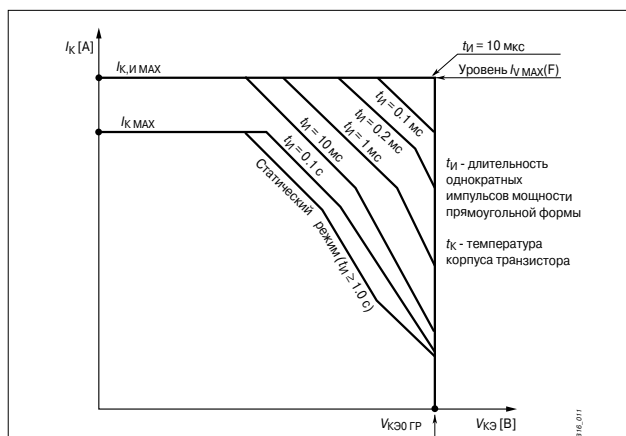


Рис. 6. Типовая область безопасной работы биполярных транзисторов для режима прямого смещения базы — ОБР(F) — при температуре кристалла 25°C

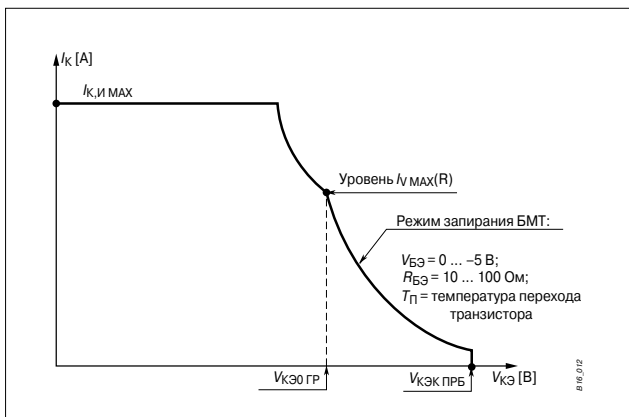


Рис. 7. Типовая область безопасной работы биполярных транзисторов для режима обратного динамического смещения базы — ОБР(R) — при температуре кристалла менее 100°C

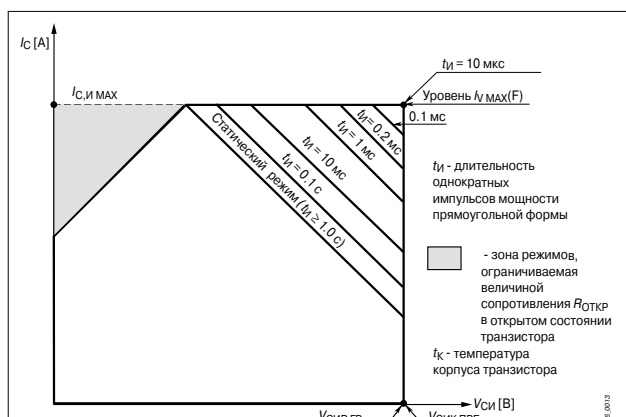


Рис. 8. Типовая область безопасной работы МОП-транзисторов для режима прямого смещения затвора — ОБР(F) — при температуре кристалла 25°C

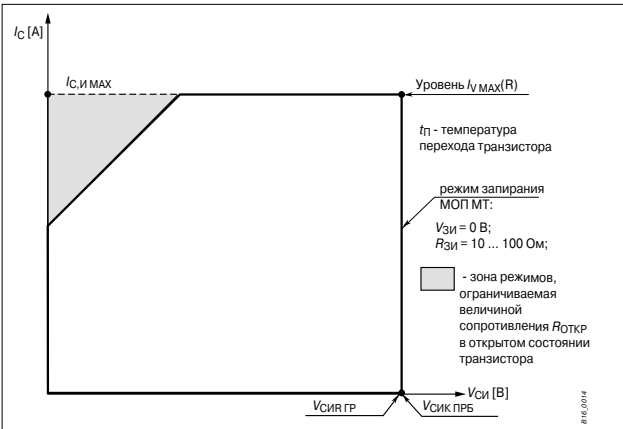


Рис. 9. Типовая область безопасной работы МОП-транзисторов для режима обратного динамического смещения затвора — ОБР(R) — при температуре кристалла менее 100°С

кой зоне безопасных режимов в моменты включения данного типа МПП по сравнению с тремя другими типами конкурирующих полупроводниковых приборов. Еще одним выводом, который можно вынести из анализа представленных графиков ОБР(F), является то, что зарегистрированные у БСИТ-транзисторов участки вторичного пробоя как в статических, так и в импульсных режимах начинаются при меньших значениях рабочего напряжения V , чем у соответствующих БМТ и БТИЗ. При этом наклон графиков на данных участках к оси абсцисс у БСИТ оказывается заметно круче, чем у двух других типов биполярных МПП. Это также не лучшим образом характеризует БСИТ-транзисторы, свидетельствуя о более быстром шнуровании выходного тока в их структурах по мере роста рабочего напряжения по сравнению с другими типами конкурирующих транзисторов. Устранение указанных технологических недостатков БСИТ несомненно должно входить в ближайшие планы разработчиков этого класса приборов. При характеристике ОБР(F) следует также отметить, что МОП МТ, имея самые широкие области безопасной работы среди всех четырех типов рассматриваемых МПП, в то же время имеют определенные ограничения на рабочие режимы в области малых напряжений (до 10...20 В), налагаемые конечной величиной сопротивления транзистора в открытом состоянии ключа (см. **Рис. 8**).

Области безопасной работы при обратном динамическом смещении управляющего электрода — ОБР(R) — характеризуют энергетические возможности транзисторов в моменты времени их выключения, т.е. при переключении рабочей точки МПП из режима открытого состояния ключа в область режимов отсечки. Как видно из **Рис. 5, 7, 9 и 11**, здесь наилучшими показателями обладают МОП МТ, затем следуют БТИЗ и БМТ. БСИТ и здесь несколько уступают своим конкурирующим прототипам по ширине зарегистрированных ОБР(R), характеризуемых параметром $I_{н макс}(R)$. Тем не менее приводимые для БСИТ зоны рабочих режимов ОБР(R) вполне приемлемы для практических применений.

Энергия вторичного пробоя, так же, как и энергия лавинного пробоя, характеризует устойчивость транзисторов к импульсным перенапряжениям. Типовые значения энергии лавинного пробоя для МОП МТ лежат в диапазоне от 200 до 1000 мДж, что практически недостижимо для трех других типов конкурирующих транзисторных ключей (за исключением случаев специального схемотехнического исполнения приборов с ограничительным стабилитроном в цепи коллектор—база). Подобные отличные показатели по параметру энергии лавинного пробоя позволяют использовать МОП МТ в схемах без излишнего запаса по напряжению даже в тех случаях, когда в цепях питания устройства могут присутствовать мощные импульсные помехи в виде высоковольтных всплесков напряжения. Для трех других типов рассматриваемых МПП в подобных случаях необходимы либо дополнительный запас по максимально допу-

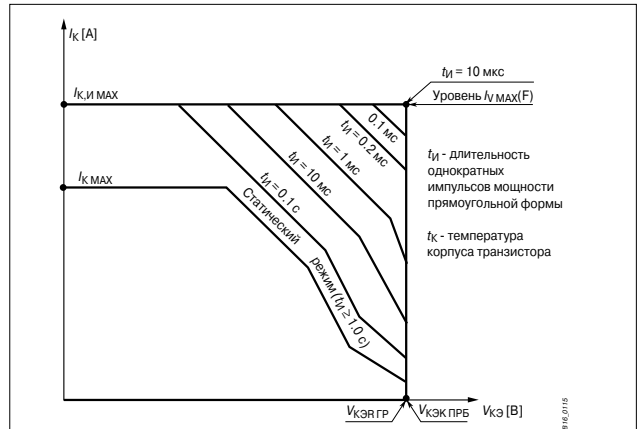


Рис. 10. Типовая область безопасной работы БТИЗ-транзисторов для режима прямого смещения затвора — ОБР(F) — при температуре кристалла 25°С

стимулу напряжению коллектор—эмиттер (сток—исток), либо введение в схему специальных защитных устройств (снабберных C-R-D-цепочек, ограничителей напряжения и т.д.), что, естественно, ухудшает массогабаритные показатели и увеличивает стоимость устройств.

БСИТ по энергии вторичного пробоя имеют, к сожалению, не очень хорошие показатели (1...20 мДж), уступаая как БТИЗ (5...100 мДж), так и традиционным БМТ (10...150 мДж).

Что касается перегрузочных способностей транзисторов по току, характеризующимся величиной тока короткого замыкания, то современные БСИТ находятся примерно на том же уровне, что и традиционные БМТ, допуская десятимикросекундные режимы короткого замыкания при токах короткого замыкания в 2—3 раза превышающих максимально допустимый импульсный ток. При этом они несколько уступают здесь БТИЗ и МОП МТ, допускающим подобные режимы короткого замыкания при токах, в 4—5 раз превышающих нормируемые значения для импульсных режимов.

Таким образом, в целом можно констатировать, что по совокупности энергетических и перегрузочных показателей БСИТ пока несколько уступают другим типам транзисторных ключей. Однако, так же, как и БТИЗ, БСИТ являются технологически быстро прогрессирующими приборами, поэтому в ближайшие годы следует ожидать их заметного улучшения и по данным показателям. Все это, несомненно, скажется на расширении областей их применения в ряде устройств массового спроса, например в низковольтных узлах и блоках автомобильной электроники, а также в электроприводах небольшой и средней мощности.

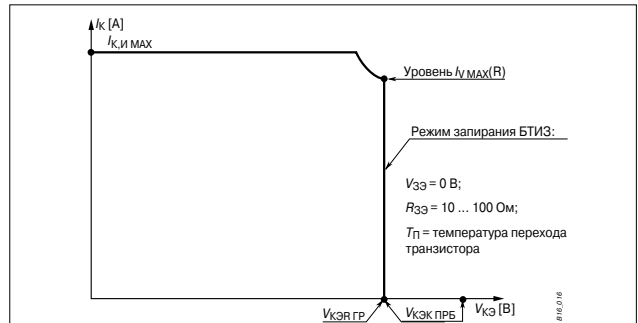


Рис. 11. Типовая область безопасной работы БТИЗ-транзисторов для режима обратного динамического смещения затвора — ОБР(R) — при температуре кристалла менее 100°С

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТРАНЗИСТОРНЫХ КЛЮЧЕЙ СРЕДНЕЙ ВЫСОКОВОЛЬТНОСТИ И СРЕДНИМ УРОВНЕМ РАБОЧЕГО ТОКА ($T_K = 25^\circ\text{C}$)

Таблица 1а. ОСНОВНЫЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ПАРАМЕТРЫ (обязательны для включения в ТУ)

Наименование параметра	Обозначение	Режим измерения	БСИТ (КП948А)	БМТ (КТ8181А)	МОП МТ (IRF830)	БТИЗ (IRGBC20К)	Единица измерения
Граничное напряжение коллектор—эмиттер	$V_{КЭ\text{ГР}}$	$I_K = 0.1\text{ А}$	—	400 ($R_{БЭ} = \infty$)	—	600 ($R_{ЗЭ} = 100\text{ Ом}$)	В
Граничное напряжение сток—исток	$V_{СИ\text{ГР}}$	$I_C = 0.1\text{ А}$	400 ($R_{ЗИ} = \infty$)	—	500 ($R_{ЗИ} = 100\text{ Ом}$)	—	В
Пробивное напряжение коллектор—эмиттер	$V_{КЭ\text{ПРБ}}$	$I_{КЭ\text{К}} = 1\text{ МА}, R_{БЭ} = R_{ЗЭ} = 0$	—	700	—	600	В
Пробивное напряжение сток—исток	$V_{СИ\text{ПРБ}}$	$I_{СИ\text{К}} = 1\text{ МА}, R_{ЗИ} = 0$	800	—	500	—	В
Максимальное напряжение эмиттер—база	$V_{ЭБ\text{О МАКС}}$	$I_{ЭБ\text{О}} = 1\text{ МА}, I_K = 0$	—	9.0	—	—	В
Максимальное напряжение затвора	$V_{З\text{ МАКС}}$	$I_{ЗИ} = I_{ЗЭ} = 1\text{ МА}, I_C = 0, V_{СИ} = V_{КЭ} = 0$	-5.0	—	± 20	± 20	В
Максимальный постоянный ток коллектора	$I_{К\text{ МАКС}}$	—	—	4.0	—	6.0	А
Максимальный постоянный ток стока	$I_{С\text{ МАКС}}$	—	5.0	—	4.5	—	А
Максимальный импульсный ток коллектора	$I_{КИ\text{ МАКС}}$	—	—	8.0	—	20	А
Максимальный импульсный ток стока	$I_{СИ\text{ МАКС}}$	—	10	—	18	—	А
Максимальная постоянная рассеиваемая мощность	$P_{\text{МАКС}}$	$V_{КЭ} = V_{СИ} = 20\text{ В}, T_{П} = T_{П\text{ МАКС}}$	40	50	75	60	Вт
Максимальная температура перехода	$T_{П\text{ МАКС}}$	—	150	150	150	150	$^\circ\text{C}$

Таблица 1б. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ПАРАМЕТРЫ (необязательны для включения в ТУ)

Наименование параметра	Обозначение	Режим измерения	БСИТ (КП948А)	БМТ (КТ8181А)	МОП МТ (IRF830)	БТИЗ (IRGBC20К)	Единица измерения
Максимальный выходной ток в режиме КЗ	$I_{КЗ\text{ МАКС}}$	$V_{КК} = 0.6V_{КЭ\text{ГР}}, V_{СС} = V_{СИ\text{ГР}}, t_{И} = 10\text{ мкс}$	20	20	45	80	А
Максимальная энергия вторичного пробоя	$E_{ВП\text{ МАКС}}$	$L_K = 10\text{ мГн}, R_{БЭ} = R_{ЗИ} = 100\text{ Ом}$	10	30	—	—	мДж
Максимальная энергия лавинного пробоя	$E_{Л\text{АВ МАКС}}$	$L_C = 10\text{ мГн}, R_{ЗИ} = R_{ЗЭ} = 100\text{ Ом}$	—	—	280	15	мДж
Максимальный ток ОБП(Ф)	$I_{V\text{ МАКС(Ф)}}$	$V_{КЭ} = V_{КЭ\text{ГР}}, V_{СИ} = V_{СИ\text{ГР}}$	5.0	8.0	18	20	А
Максимальный ток ОБП(Р)	$I_{V\text{ МАКС(Р)}}$	$V_{КЭ} = V_{КЭ\text{ГР}}, V_{СИ} = V_{СИ\text{ГР}}$	3.0	2.7	18	12	А

Таблица 1в. ТИПОВЫЕ СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ (включаются в ТУ в качестве квалификационных или справочных параметров)

Наименование параметра	Обозначение	Режим измерения	БСИТ (КП948А)	БМТ (КТ8181А)	МОП МТ (IRF830)	БТИЗ (IRGBC20К)	Единица измерения
Обратный ток коллектор—эмиттер	$I_{КЭ\text{К}}$	$V_{КЭ} = V_{КЭ\text{ПРБ}}, R_{БЭ} = R_{ЗЭ} = 0$	—	0.1	—	0.25	мА
Ток утечки сток—исток	$I_{СИ\text{К}}$	$V_{СИ} = V_{СИ\text{ПРБ}}, R_{ЗИ} = 0$	0.25	—	0.025	—	мА
Обратный ток эмиттер—база	$I_{ЭБ\text{О}}$	$V_{ЭБ} = V_{ЭБ\text{О МАКС}}, I_K = 0$	—	0.1	—	—	мА
Ток утечки затвора	$I_{З\text{ УТ}}$	—	1.0 ($V_{ЗИ} = -4\text{ В}$)	—	± 0.1 ($V_{ЗИ} = \pm 20\text{ В}$)	± 0.1 ($V_{ЗЭ} = \pm 20\text{ В}$)	мкА
Статический коэффициент усиления по току	$\beta_{СТ}$	$I_K = I_C = 1\text{ А}, V_{КЭ} = V_{СИ} = 1\text{ В}$	32	24	—	—	А/А
Крутизна характеристики	S	$I_K = I_C = 0.5I_{К\text{ МАКС}}, V_{КЭ} = 0.1V_{КЭ\text{ГР}}, V_{СИ} = V_{СИ\text{ГР}}$	—	—	2.5	3.3	А/В
Напряжение насыщения коллектор—эмиттер	$V_{КЭ\text{ НАС}}$	$I_K = 0.5I_{К\text{ МАКС}}, I_B = 0.2I_K, V_{ЗЭ} = 15\text{ В}$	—	0.4	—	2.4	В
Напряжение сток—исток открытого ключа	$V_{СИ\text{ ОТКР}}$	$I_C = 0.5I_{С\text{ МАКС}}, I_B = 0.2I_C, V_{ЗИ} = 10\text{ В}$	0.200	—	4.05	—	В
Сопротивление открытого ключа	$R_{ОТКР}$	$I_K = 0.5I_{К\text{ МАКС}}, I_C = 0.5I_{С\text{ МАКС}}, I_B = 0.2I_K, I_B = I_C, V_{ЗИ} = 10\text{ В}, V_{ЗЭ} = 15\text{ В}$	0.100	0.200	1.500	0.400	Ом
Входное напряжение открытого ключа	$V_{ВХ\text{ ОТКР}}$	$I_K = 0.5I_{К\text{ МАКС}}, I_C = 0.5I_{С\text{ МАКС}}, I_B = 0.2I_K, I_B = I_C$	1.20	1.30	—	—	В
Пороговое напряжение затвора	$V_{З\text{ ПРГ}}$	$I_K = I_C = 0.25\text{ МА}, V_{ЗЭ} = V_{КЭ}, V_{ЗИ} = V_{СИ}$	—	—	2.5	4.5	В
Время включения	$t_{ВКЛ}$	$I_K = 0.5I_{К\text{ МАКС}}, I_C = 0.5I_{С\text{ МАКС}}, I_B = 0.2I_K, I_B = I_C, V_{ЗИ} = 10\text{ В}, V_{ЗЭ} = 15\text{ В}$	0.10	0.30	0.02	0.05	мкс
Время рассасывания	$t_{РАС}$	$I_K = 0.5I_{К\text{ МАКС}}, I_C = 0.5I_{С\text{ МАКС}}, I_B = 0.2I_K, I_B = I_C$	1.50	2.50	—	—	мкс
Время задержки выключения	$t_{ЗД\text{ ВЫКЛ}}$	$I_K = 0.5I_{К\text{ МАКС}}, I_C = 0.5I_{С\text{ МАКС}}, V_{ЗИ} = 10\text{ В}, V_{ЗЭ} = 15\text{ В}$	—	—	0.04	0.40	мкс
Время спада	$t_{СП}$	$I_K = 0.5I_{К\text{ МАКС}}, I_C = 0.5I_{С\text{ МАКС}}, I_B = 0.2I_K, I_B = I_C, V_{ЗИ} = 10\text{ В}, V_{ЗЭ} = 15\text{ В}$	0.08	0.22	0.02	0.25	мкс
Время «хвоста» при включении	$t_{ХВ\text{ ВКЛ}}$	$I_K = 0.5I_{К\text{ МАКС}}, I_C = 0.5I_{С\text{ МАКС}}, I_B = 0.2I_K, I_B = I_C, V_{ЗИ} = 10\text{ В}, V_{ЗЭ} = 15\text{ В}$	0.03	0.45	0.01	0.10	мкс
Время «хвоста» при выключении	$t_{ХВ\text{ ВЫКЛ}}$	$I_K = 0.5I_{К\text{ МАКС}}, I_C = 0.5I_{С\text{ МАКС}}, I_B = 0.2I_K, I_B = I_C, V_{ЗИ} = 10\text{ В}, V_{ЗЭ} = 15\text{ В}$	0.02	0.08	0.01	0.35	мкс
Входная емкость	$C_{ВХ}$	—	1450 ($V_{ВХ} = -4\text{ В}$)	750 ($V_{ВХ} = -4\text{ В}$)	610 ($V_{ВХ} = 0$)	360 ($V_{ВХ} = 0$)	пФ
Выходная емкость	$C_{ВЫХ}$	$V_{КЭ} = 0.1V_{КЭ\text{ГР}}, V_{СИ} = 0.1V_{СИ\text{ГР}}$	180	100	160	45	пФ
Тепловое сопротивление переход—корпус	$R_{Т\text{ П-К}}$	$V_{КЭ} = V_{СИ} = 20\text{ В}, P_K = P_{К\text{ МАКС}}, P_C = P_{С\text{ МАКС}}$	3.12	2.50	1.70	2.08	$^\circ\text{C}/\text{Вт}$
Корпус МПП	—	—	ТО-220	ТО-220	ТО-220	ТО-220	—

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТРАНЗИСТОРНЫХ КЛЮЧЕЙ СРЕДНЕЙ ВЫСОКОВОЛЬТНОСТИ С ПОВЫШЕННЫМ УРОВНЕМ РАБОЧЕГО ТОКА ($T_K = 25^\circ\text{C}$)

Таблица 2а. ОСНОВНЫЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ПАРАМЕТРЫ (обязательны для включения в ТУ)

Наименование параметра	Обозначение	Режим измерения	БСИТ (КП946А)	БМТ (КТ8182А)	МОП МТ (IRF840)	БТИЗ (IRGBC20F)	Единица измерения
Граничное напряжение коллектор—эмиттер	$V_{КЭ ГР}$	$I_K = 0.1 \text{ А}$	—	400 ($R_{БЭ} = \infty$)	—	600 ($R_{ЗЭ} = 100 \text{ Ом}$)	В
Граничное напряжение сток—исток	$V_{СИ ГР}$	$I_C = 0.1 \text{ А}$	400 ($R_{ЗИ} = \infty$)	—	500 ($R_{ЗИ} = 100 \text{ Ом}$)	—	В
Пробивное напряжение коллектор—эмиттер	$V_{КЭК ПРБ}$	$I_{КЭК} = 1 \text{ МА}, R_{БЭ} = R_{ЗЭ} = 0$	—	700	—	600	В
Пробивное напряжение сток—исток	$V_{СИК ПРБ}$	$I_{СИК} = 1 \text{ МА}, R_{ЗИ} = 0$	500	—	500	—	В
Максимальное напряжение эмиттер—база	$V_{ЭБО \text{ МАКС}}$	$I_{ЭБО} = 1 \text{ МА}, I_K = 0$	—	9.0	—	—	В
Максимальное напряжение затвора	$V_{З \text{ МАКС}}$	$I_{ЗИ}/I_{ЗЭ} = 1 \text{ МА}, I_C = 0, V_{СИ}/V_{КЭ} = 0$	—5.0	—	±20	±20	В
Максимальный постоянный ток коллектора	$I_{К \text{ МАКС}}$	—	—	8.0	—	9.0	А
Максимальный постоянный ток стока	$I_{С \text{ МАКС}}$	—	8.0	—	8.0	—	А
Максимальный импульсный ток коллектора	$I_{КИ \text{ МАКС}}$	—	—	16	—	64	А
Максимальный импульсный ток стока	$I_{СИ \text{ МАКС}}$	—	15	—	32	—	А
Максимальная постоянная рассеиваемая мощность	$P_{\text{МАКС}}$	$V_{КЭ} = V_{СИ} = 20 \text{ В}, T_{П} = T_{П \text{ МАКС}}$	60	80	125	60	Вт
Максимальная температура перехода	$T_{П \text{ МАКС}}$	—	150	150	150	150	$^\circ\text{C}$

Таблица 2б. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ПАРАМЕТРЫ (необязательны для включения в ТУ)

Наименование параметра	Обозначение	Режим измерения	БСИТ (КП946А)	БМТ (КТ8182А)	МОП МТ (IRF840)	БТИЗ (IRGBC20F)	Единица измерения
Максимальный выходной ток в режиме КЗ	$I_{КЗ \text{ МАКС}}$	$V_{КК} = 0.6V_{КЭ ГР}, V_{СС} = V_{СИ ГР}, t_{И} = 10 \text{ мкс}$	30	40	80	300	А
Максимальная энергия вторичного пробоя	$E_{ВП \text{ МАКС}}$	$L_K = 10 \text{ мГн}, R_{БЭ} = R_{ЗИ} = 100 \text{ Ом}$	3.0	50	—	—	мДж
Максимальная энергия лавинного пробоя	$E_{ЛАВ \text{ МАКС}}$	$L_C = 10 \text{ мГн}, R_{ЗИ} = R_{ЗЭ} = 100 \text{ Ом}$	—	—	510	25	мДж
Максимальный ток ОБР(Ф)	$I_{\text{МАКС}}(\text{Ф})$	$V_{КЭ} = V_{КЭ ГР}, V_{СИ} = V_{СИ ГР}$	8.0	16.0	32	64	А
Максимальный ток ОБР(Р)	$I_{\text{МАКС}}(\text{Р})$	$V_{КЭ} = V_{КЭ ГР}, V_{СИ} = V_{СИ ГР}$	5.0	4.0	32	16	А

Таблица 2в. ТИПОВЫЕ СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ (включаются в ТУ в качестве квалификационных или справочных параметров)

Наименование параметра	Обозначение	Режим измерения	БСИТ (КП946А)	БМТ (КТ8182А)	МОП МТ (IRF840)	БТИЗ (IRGBC20F)	Единица измерения
Обратный ток коллектор—эмиттер	$I_{КЭК}$	$V_{КЭ} = V_{КЭК ПРБ}, R_{БЭ} = R_{ЗЭ} = 0$	—	0.1	—	0.25	мА
Ток утечки сток—исток	$I_{СИК}$	$V_{СИ} = V_{СИК ПРБ}, R_{ЗИ} = 0$	0.2	—	0.025	—	мА
Обратный ток эмиттер—база	$I_{ЭБО}$	$V_{ЭБ} = V_{ЭБО \text{ МАКС}}, I_K = 0$	—	0.1	—	—	мА
Ток утечки затвора	$I_{З УТ}$	—	1.0 ($V_{ЗИ} = -4 \text{ В}$)	—	±0.1 ($V_{ЗИ} = \pm 20 \text{ В}$)	±0.1 ($V_{ЗЭ} = -20 \text{ В}$)	мкА
Статический коэффициент усиления по току	$\beta_{СТ}$	$I_K = I_C = 1 \text{ А}, V_{КЭ} = V_{СИ} = 1 \text{ В}$	35	20	—	—	А/А
Круглизна характеристики	S	$I_K = 0.5I_{\text{МАКС}}, I_C = 0.5I_{\text{МАКС}}, V_{КЭ} = 0.1V_{КЭ ГР}, V_{СИ} = V_{СИ ГР}$	—	—	4.9	5.1	А/В
Напряжение насыщения коллектор—эмиттер	$V_{КЭ \text{ НАС}}$	$I_K = 0.5I_{\text{МАКС}}, I_{Б} = 0.2I_K, V_{ЗЭ} = 15 \text{ В}$	—	0.50	—	2.0	В
Напряжение сток—исток открытого ключа	$V_{СИ \text{ ОТКР}}$	$I_C = 0.5I_{\text{МАКС}}, I_{З} = 0.2I_C, V_{ЗИ} = 10 \text{ В}$	0.240	—	4.08	—	В
Сопrotивление открытого ключа	$R_{\text{ОТКР}}$	$I_K = 0.5I_{\text{МАКС}}, I_C = 0.5I_{\text{МАКС}}, I_{Б} = 0.2I_K, I_{З} = I_C, V_{ЗИ} = 10 \text{ В}, V_{ЗЭ} = 15 \text{ В}$	0.060	0.125	0.850	0.220	Ом
Входное напряжение открытого ключа	$V_{\text{ВХ ОТКР}}$	$I_K = 0.5I_{\text{МАКС}}, I_C = 0.5I_{\text{МАКС}}, I_{Б} = 0.2I_K, I_{З} = I_C$	1.10	1.20	—	—	В
Пороговое напряжение затвора	$V_{З ПРГ}$	$I_K = I_C = 0.25 \text{ МА}, V_{ЗЭ} = V_{КЭ}, V_{ЗИ} = V_{СИ}$	—	—	2.5	4.5	В
Время включения	$t_{\text{ВКЛ}}$	$I_K = 0.5I_{\text{МАКС}}, I_C = 0.5I_{\text{МАКС}}, I_{Б} = 0.2I_K, I_{З} = I_C, V_{ЗИ} = 10 \text{ В}, V_{ЗЭ} = 15 \text{ В}$	0.12	0.40	0.04	0.06	мкс
Время рассасывания	$t_{\text{РАС}}$	$I_K/I_C = 0.5I_{\text{МАКС}}, I_{Б}/I_{З} = 0.2I_K/I_C$	1.60	2.20	—	—	мкс
Время задержки выключения	$t_{\text{ЗД ВКЛ}}$	$I_K = 0.5I_{\text{МАКС}}, I_C = 0.5I_{\text{МАКС}}, I_{Б} = 0.2I_K, I_{З} = I_C$	—	—	0.05	0.30	мкс
Время спада	$t_{\text{СП}}$	$I_K = 0.5I_{\text{МАКС}}, I_C = 0.5I_{\text{МАКС}}, I_{Б} = 0.2I_K, I_{З} = I_C, V_{ЗИ} = 10 \text{ В}, V_{ЗЭ} = 15 \text{ В}$	0.12	0.25	0.02	0.60	мкс
Время «хвоста» при включении	$t_{\text{ХВ ВКЛ}}$	$I_K = 0.5I_{\text{МАКС}}, I_C = 0.5I_{\text{МАКС}}, I_{Б} = 0.2I_K, I_{З} = I_C, V_{ЗИ} = 10 \text{ В}, V_{ЗЭ} = 15 \text{ В}$	0.05	0.60	0.01	0.14	мкс
Время «хвоста» при выключении	$t_{\text{ХВ ВЫКЛ}}$	$I_K = 0.5I_{\text{МАКС}}, I_C = 0.5I_{\text{МАКС}}, I_{Б} = 0.2I_K, I_{З} = I_C, V_{ЗИ} = 10 \text{ В}, V_{ЗЭ} = 15 \text{ В}$	0.03	0.10	0.01	2.70	мкс
Входная емкость	$C_{\text{ВХ}}$	—	1800 ($V_{\text{ВХ}} = -4 \text{ В}$)	1200 ($V_{\text{ВХ}} = -4 \text{ В}$)	1300 ($V_{\text{ВХ}} = 0$)	540 ($V_{\text{ВХ}} = 0$)	пФ
Выходная емкость	$C_{\text{ВЫХ}}$	$V_{КЭ} = 0.1V_{КЭ ГР}, V_{СИ} = V_{СИ ГР}$	220	120	310	65	пФ
Тепловое сопротивление переход—корпус	$R_{Т П-К}$	$V_{КЭ} = V_{СИ} = 20 \text{ В}, P_K = P_{\text{МАКС}}, P_C = P_{\text{МАКС}}$	2.08	1.056	1.0	2.08	$^\circ\text{C}/\text{Вт}$
Корпус МПП	—	—	ТО-220	ТО-220	ТО-220	ТО-220	—